
УДК 631.425.6

Золотовська О., канд. техн. наук (Дніпропетровський державний аграрний університет)

Моделювання процесу формування вологи в ґрунтовому зразку з прогнозованими теплофізичними параметрами

Наведено експериментальні дані, на підставі яких було вивчено вплив різних факторів на теплофізичні параметри і кількість води в ґрунті. Показано регресійні моделі впливу цих факторів на показники, за допомогою яких можна прогнозувати їх властивості.

Ключові слова: ґрунт, теплофізичні параметри, вологість, моделювання.

Суть проблеми. На сучасному етапі розвитку людства однією з актуальних проблем є здатність ґрунту поглинати й утримувати достатню кількість вологи для нормального росту і розвитку рослин. Вода перебуває

в ґрунті в різних станах і залежно від цього по-різному впливає на живлення рослин [1]. Вода також має властивість переходити з однієї форми в іншу. В перезволоженому ґрунті всі проміжки між його частками зай-

Кодування факторів у дослідженні теплових і фізичних процесів у ґрунті

Фактор	Рівень варіювання					Крок варіювання Δ
	-1,414	-1	0	+1	+1,414	
Відношення температур $t_2/t_1, X_1$	0	1	4,75	8,5	12,25	3,75
Відносна вологість повітря, %, X_2	38	51	64	77	90	13
Щільність ґрунту, г/м ³ , X_3	1,295	1,145	0,995	0,845	0,695	0,15
Глибина вимірювання температур, мм, X_4	45	83,75	122,5	161,25	200	38,75

няті водою. Під час підсихання ґрунту витрачається, в першу чергу, вільна (некапілярна) вода, а потім капілярна. Якщо запаси капілярної і некапілярної води вичерпані, то рослини не можуть отримувати її з ґрунту через кореневу систему, оскільки в ґрунті залишається лише вода, недоступна рослинам. Кількість води, яку ґрунт міцно утримує, а рослини не можуть використовувати, становить мертвий запас води, зазвичай рівний максимальній гігроскопічності.

У глинистих ґрунтах, водоутримуюча здатність яких дуже велика, мертвий запас вологи становить 10-15% від маси ґрунту, а в піщаних ґрунтах – менше 1%. Це означає, що за однакової вологості (припустимо, 23%) глинистий і піщаний ґрунти мають різну кількість доступної рослинам води: глинистий – 6-11%, піщаний – 22%. [1, 2]. Тепловий режим ґрунту створюється механізмом поширення тепла. Теплові властивості ґрунту визначають зміну температури ґрунту в процесі поглинання тепла діяльною поверхнею і його перерозподілу в активному шарі ґрунту. Отже, визначення закономірностей утворення ґрунтової вологи, прогнозування водних і теплових властивостей ґрунту є значною передумовою отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В результаті аналізу робіт [3] було розроблено математичну модель утворення вологи в ґрунтового профілі. Однак внаслідок впливу на процес утворення вологи значної кількості технологічних та природних факторів розроблена математична модель вимагає проведення додаткових теоретичних і експериментальних досліджень.

Завдання досліджень – визначити залежність основних теплофізичних характеристик від умов процесу утворення вологи, який формується під впливом кондуктивної, конвективної, радіаційної та масообмінної провідності з метою визначення поля теплофізичних і масообмінних характеристик у ґрунтового матеріалі.

Відомо [4], що будь-який процес може бути охарактеризований деякою залежністю виходу процесу Y від діючих факторів $X_1, X_2 \dots X_n$.

Як незалежні змінні для процесу, що враховує тепловий і водний режими, було обрано такі показники:

- градієнт температур – відношення температури ґрунту на глибині t_2 до температури на поверхні ґрунту $t_1 (X_1)$;

- відносну вологість повітря на поверхні ґрунту (X_2);

- щільність ґрунту (X_3);

- глибину вимірювань температури в ґрунті (X_4).

Як функції відгуку було обрано показники, що їх визначають експериментально:

- кількість вологи (Y_1), утвореної за певний проміжок часу;

- коефіцієнт теплопровідності (Y_2);

- коефіцієнт температуропровідності (Y_3);

- питому теплоємність ґрунту (Y_4).

Наявні апріорні відомості про процеси в ґрунті [3, 6] дозволили вибрати область експериментування та інтервали варіювання факторів (табл. 1).

Для побудови моделей використано ортогональний центральний композиційний план другого порядку з ядром 24 [4, 5], проведено статичну перевірку значу-

щості коефіцієнтів регресії. «Пороги значущості» для оцінювання коефіцієнтів, що характеризують силу впливу факторів та їх ефектів взаємодії, знаходилися як $h_i \cdot S$, де S – середнє квадратичне відхилення помилки спостереження; $h_i = t_{кр}(\alpha; \varphi) \cdot \sqrt{c_i}$; $t_{кр}(\alpha; \varphi)$ – критичне значення розподілу Стюдента для рівня значущості $\alpha = 0,5$ і числа ступенів свободи $\varphi = 3$ [4, 5]. Для параметра Y_1 «пороги значущості» відповідають значенням:

$X_1 = 0,022$, $X_1^2 = 0,1624$, $X_{ij} = 0,053$; для Y_2 : $X_1 = 0,028$, $X_1^2 = 0,202$, $X_{ij} = 0,066$; для Y_3 : $X_1 = 0,033$, $X_1^2 = 0,242$, $X_{ij} = 0,079$; для Y_4 : $X_1 = 0,239$, $X_1^2 = 1,71$, $X_{ij} = 0,5644$.

Виключивши з моделі фактори та їх взаємодії, величина коефіцієнтів яких за модулем менше вказаних «порогів значущості», для рівня значущості $\alpha = 0,5$ отримали такі рівняння регресії:

$$Y_1 = 0,26 + 0,305X_1 + 0,043X_2 - 0,025X_3 + 0,325X_4 + 0,094X_1X_2 - 0,069X_1X_3 + 0,081X_1X_4 + 0,219X_2X_3 + 0,381X_2X_4 + 0,219X_3X_4;$$

$$Y_2 = 1,26 + 3,7X_1 + 0,0302X_2 + 0,37X_3 - 0,202X_4 + 484X_1^2 + 0,26X_2^2 - 0,14X_4^2 - 4,6X_1X_2 + 4,7X_1X_3 + 0,384X_1X_4;$$

$$Y_3 = 2,7 + 0,406X_1 - 0,312X_2 + 1,63X_3 + 0,15X_4 - 0,242X_1^2 - 0,36X_2^2 - 0,362X_3^2 + 0,61X_4^2 + 0,08X_2X_3 - 0,08X_2X_4;$$

$$Y_4 = 0,741 + 0,125X_1 + 0,292X_2 + 0,2X_3 - 0,037X_4 - 0,0075X_3X_4.$$

Адекватність отриманої моделі перевіряли за критерієм Фішера. Розрахункове значення F статистики знаходили за формулою:

$$F_p = \frac{S_{ocm}^2}{S^2}.$$

Для отриманих моделей залишкову дисперсію визначали за формулою

$$S_{ocm}^2 = \frac{1}{N - m} \sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2.$$

Отримані залишкові дисперсії, розрахункові та табличні значення статистики Фішера наведено в табл. 2.

Розрахункове значення статистики Фішера F_p для

Таблиця 2

Розрахункове і табличне значення статистики Фішера

Показник	Значення показника		
	S_{ocm2}	F_p	$F_{табл}$
Y_1	0,006	0,2	8,703
Y_2	0,184	3,94	8,703
Y_3	0,28	3,53	8,703
Y_4	28,2	8,42	8,703

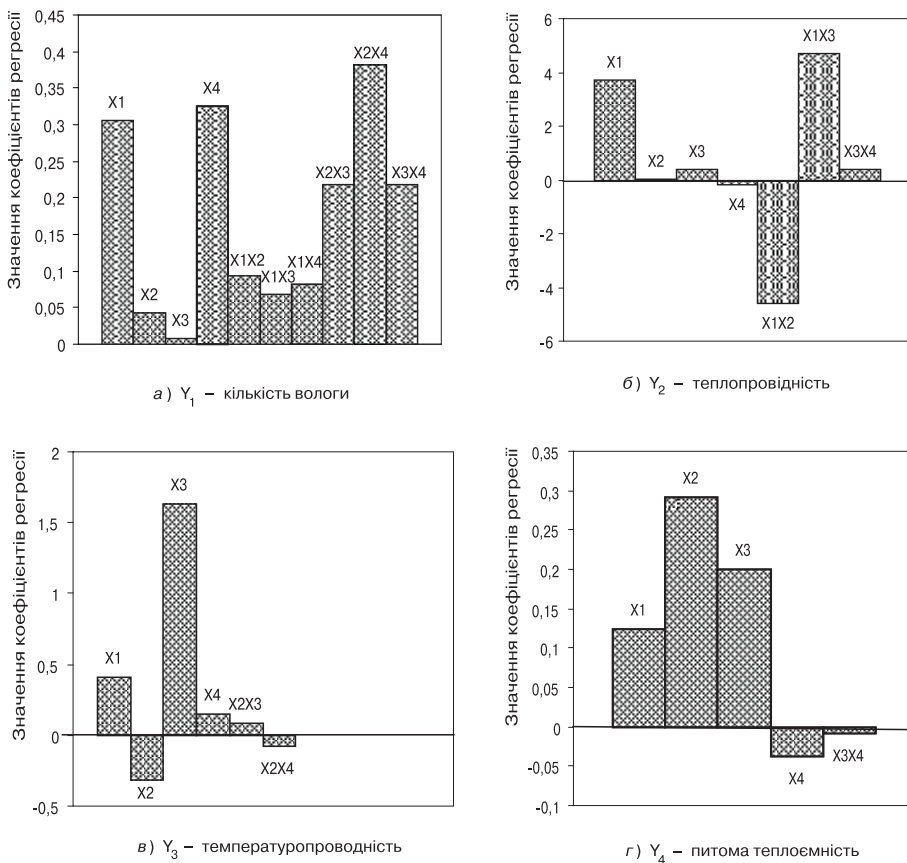


Рис. 1 – Діаграма значимості факторів моделі

отриманої моделі менше табличного значення $F_{\text{табл.}}$. Отже, модель адекватна з надійністю 0,95 істинної залежності і може використовуватись для технологічного аналізу процесу в ґрунті і прогнозування значення показників Y .

Вплив досліджуваних факторів показано на діаграмі (рис. 1).

Таким чином, основним фактором, що визначає кількість вологи в ґрунті за певний проміжок часу, є перепад температур X_1 і глибина вимірюваних температур X_4 . Очевидно, що температура поверхні ґрунту періодично змінюється, відповідно в ґрунті встановлюються коливання температури, і амплітуда коливань із збільшенням глибини зменшується. В ефектах взаємодій X_2X_4 відзначимо, що теплоперенесення в ґрунті на глибині визначається вологістю, яка, у свою чергу, змінюється в часі і на глибині вимірювання температур.

У зв'язку із збільшенням щільності (X_1X_3) і відносної вологості показник Y_2 демонструє помітне зростання. Це фізично пояснюється процесом заміни нетеплопровідного повітря в ґрунтових проміжках масою твердих частинок, внаслідок їх зближення і поліпшення контакту між ними. А під час зволоження ґрунтів з їх пор видаляється малотеплопровідне повітря, яке замінюється добрепровідною тепловологою, що у свою чергу підвищує теплопровідність.

Аналіз рис. 1 (в) показує, що домінуючим фактором для температуропровідності Y_3 є щільність ґрунту X_3 . Очевидно, що після оранки або інших видів обробки ґрунту має місце значний перепад щільності у верхньому – орному і в нижньому – підорному шарах. У зв'яз-

ку з наростанням щільності від поверхні до рівня підорного горизонту значення температуропровідності змінюється лінійно, а отже, із зростанням фактора X_3 збільшується Y_3 . При цьому питому теплоємність Y_4 можна вважати незалежною від X_4 , тому що низький вологовміст ґрунтів відповідає незначним змінам питомої теплоємності.

Звідси випливає, що для вирішення всіх можливих завдань в частині енергетичного режиму необхідне знання теплофізичних характеристик, за допомогою яких можна прогнозувати процеси в ґрунтового профілі.

Висновки. Виконані дослідження дозволяють розв'язати регресійні моделі, що дають змогу визначити Y_n і вплив факторів $X_1 \dots X_4$. Перевірка на адекватність рівнянь фізичного процесу підтверджує достовірність розрахункових результатів у межах змін впливових факторів (табл. 1).

Список літератури

- Гордієнко В.П. Ґрунтова вологість/ Гордієнко В.П – Сімферополь: ЧП «Предприятие Феникс», 2008. – 368 с.
- Шейн Е.В. Теории и методы физики почв/ Шейн Е.В., Карпачевский Л.О. – М.: «Гриф и К», 2007. – 616 с.
- Золотовская Е.В. Модель количественной влаги при изменяющихся теплофизических параметрах почвы/ Е.В. Золотовская, А.С. Миронов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 96. – С. 645–653.
- Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов/ Хартман К. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
- Адлер Ю.П., Е.В Маркова, Ю.В. Грановский. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Е.В Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
- Миронов А.С. Оцінка технологій в АПК за допомогою визначення теплофізичного стану ґрунту/ А.С. Миронов// Техніка і технології АПК. – 2011. – №11. – С. 36 – 40.

Аннотація. Представлены экспериментальные данные, на основании которых было изучено влияние разных факторов на теплофизические параметры и количество воды в почве. Показаны регрессионные модели влияния данных факторов на показатели, с помощью которых можно прогнозировать их свойства.

Summary. In article experimental data on the basis of which influence of different factors on amount of water in ground has been investigated are presented. It is shown regression model of influence of the given factors on a parameter by means of which it is possible to predict its properties.

Стаття надійшла до редакції 4 березня 2013 р.